Oy Strömberg Ab

SAMI

SÄÄDETYT OIKOSULKUMOOTTORIKÄYTÖT

78-05

Oy Strömberg Ab

EOX/M. Harmoinen/eh

SISÄLLYSLUETTELO

SÄÄDETYT OIKOSULKUMOOTTORIKÄYTÖT

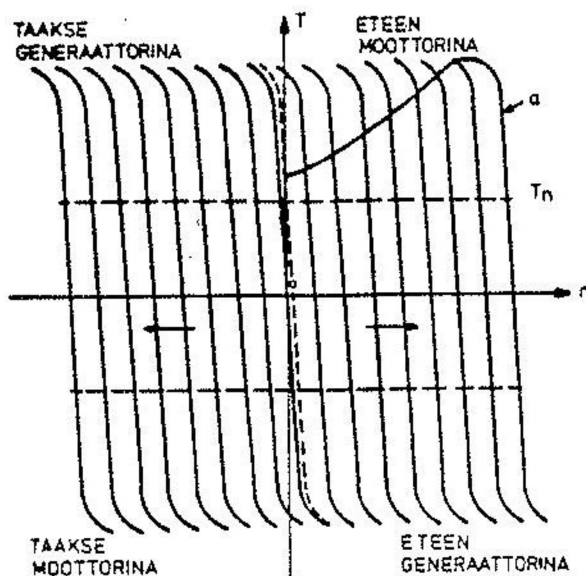
1. Oikosulkumoottori taajuusohjattuna

Nimellistaajuudella syötetyn moottorin vääntömomenttikäyrä nopeuden funktiona nähdään kuvasta 1 (käyrä a). Taajuusohjauksessa on kiinnostavin käyrän positiivisen ja negatiivisen kipin välinen osa. Tunnetusti

$$T_k \sim \left(\frac{E}{\omega_S}\right)^2 \cdot \frac{1}{X_S} \quad \text{eli} \qquad (1)$$

$$T_k \sim \frac{\phi^2}{X_S} \qquad (2)$$

eli kippimomentti on verrannollinen vuon neliöön ja kääntäen verannollinen hajareaktansseihin. Moottorin hajareaktansseilla on invertterikäytöissä oleellinen merkitys: ne rajoittavat yliaaltovirtoja.
- Kippimomenttia vastaava jättämä on verrannollinen roottorivastukseen ja riippuu siten koneen lämpötilasta.



Kuva 1. Taajuusohjatun oikosulkumoottorin vääntömomenttikäyrästö.

1.1 Vakiovuoalue

Kun taajuutta pienennetään nimellisestä arvostaan ja samalla jännitettä ohjataan niin, että koneen vuo pysyy vakiona, siirtyy momenttikäyrä samanmuotoisena nopeusakselin suuntaan (kuva 1). Tällöin

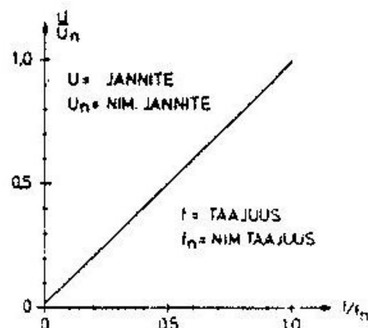
- kippimomentti pysyy samankorkuisena
- abs. jättämä samalla vääntömomentilla pysyy vakiona
- staattorivirran amplitudi pysyy myös samalla vääntömomentilla vakiona

Koneen syöttötajuuden laskettua nimellisjättämän suuruiseksi pysyy nimellismomentilla kuormitettu roottori paikallaan. Kun vaihejärjestys käännetään ja taajuutta nostetaan, tullaan toisen pyörimissuunnan nimellispisteeseen.

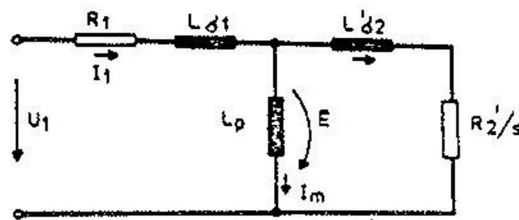
Oikosulkumoottori voi toimia myös generaattorina; siis kaikissa neljässä kvadrantissa.

Normaalisti taajuusohjattu oikosulkumoottori käynnistetään nostamalla taajuutta niin, että toimintapiste pysyy koko ajan kippien välissä.

Jotta koneen vuo pysyisi vakiona taajuutta ohjattaessa, on jännitettä ohjattava likimain verrannollisena taajuuteen (kuva 2). Kuten koneen sijaiskytkennästä (kuva 3) voi nähdä, on kuitenkin pienillä taajuuksilla moottorin syöttöjännitteen oltava staattorin resistiivisen jännitehäviön takia suurempi kuin lineaarinen suhde. Resistiivinen jännitehäviö vaihtelee n. 5...1 % 5...200 kW moottoreilla.



Kuva 2. Oikosulkumoottorin jännite taajuuden funktiona vuon ollessa vakio.



Kuva 3. Oikosulkumoottorin 1-vaiheinen sijaiskytkentä.

1.2 Kentänheikennysalue

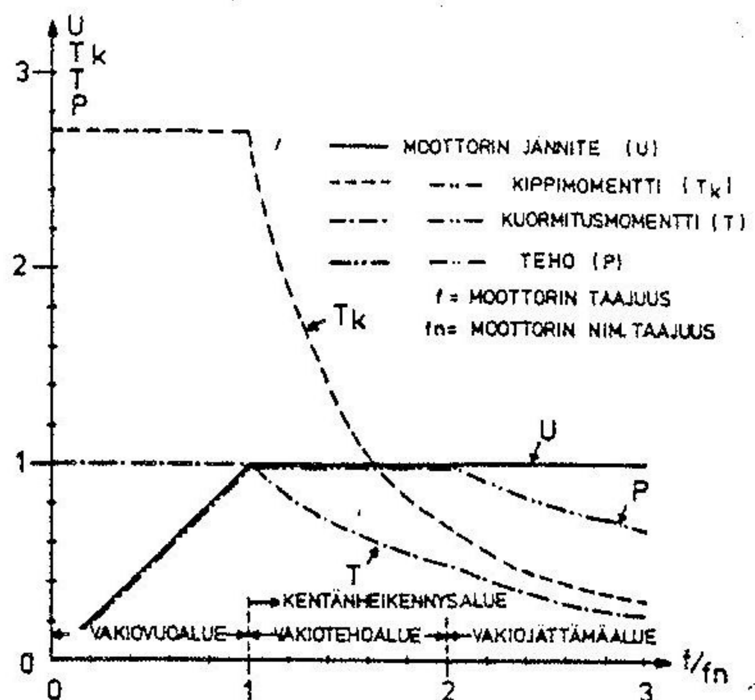
Taajuusohjattua oikosulkumoottoria ajetaan usein myös kentänheikennysalueella kuten tasavirtamoottoriakin. Tämä tapahtuu nostamalla taajuutta nimellistaajuuden yläpuolelle ja antamalla syöttöjännitteen olla vakiona. Tällöin heikkenee koneen vuo automaattisesti kääntäen verrannollisena taajuuteen ja kippimomentti laskee kääntäen verrannollisena taajuuden neliöön (kuva 4). - Kentänheikennyspisteeksi nimitetään sitä taajuuden arvoa, millä kentänheikennys alkaa.

Kentänheikennysalue jaetaan usein kahteen osaan: vakiotehoalueeseen ja vakiojättämäalueeseen (kuva 4).

Vakiotehoalueella magnetointivirta pienenee taajuuden kasvaessa, sen sijaan roottorivirta kasvaa, joten staattorivirta pysyy likimain vakiona. Kippimomentin pienetessä toimintapiste momenttikäyrällä siirtyy lähemmäksi kippiä.

Kun kuormitusmomentti on noussut n. 75 %:iin kippimomentista, on taajuuden edelleen noustessa siirryttävä vakiojättämäalueelle, jotta cos φ:n huononeminen voidaan estää. Tällöin teho pienenee kääntäen verrannollisena taajuuteen ja vääntömomentti siis kääntäen verannollisena taajuuden neliöön jättämän pysyessä vakiona.

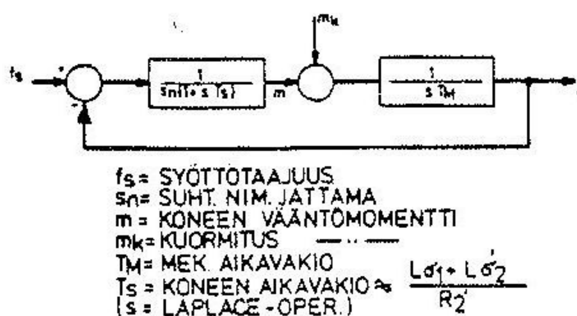
Liikennevälinekäytöissä kentänheikennysalue on usein varsin laaja ja käyttö toimii suuren osan ajasta juuri tällä alueella. Teollisuuskäytöissäkin kentänheikennysalueen käyttö on usein edullista.



Kuva 4. Oikosulkumoottori kentänheikennysalueella.

1.3 Oikosulkumoottorin dynaaminen käyttäytyminen

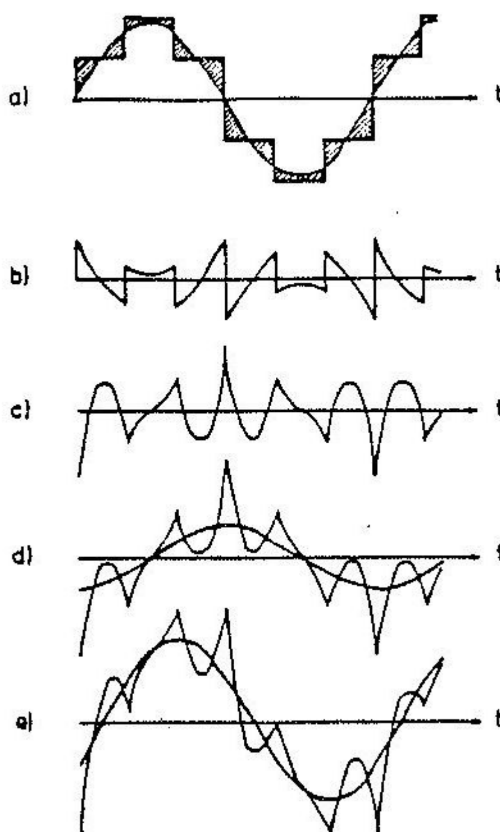
Kuvasta 5 nähdään oikosulkumoottorin pelkistetty lohkokaavio vuon ollessa vakio. Se muistuttaa suuresti tasavirtakoneen vastaavaa; myöskään koneitten dynaamisessa käyttäytymisessä ei ole merkittäviä eroja.



Kuva 5. Taajuusohjatun oikosulkumoottorin pelkistetty lohkokaavio vuon ollessa vakio.

1.4 Oikosulkumoottori invertterillä syötettynä

Käytännössä taajuusohjattua oikosulkumoottoria syötetään tavallisesti invertterillä, jonka lähtöjännite on jotakin porrasaaltotyyppiä. Miten tästä määräytyy moottorin virta, nähdään kuvasta 6. Siinä moottorin porrasaaltotyyppisestä vaihejännitteestä u on erotettu sen sinimuotoinen perusaalto u_1, jolloin jäljelle jää tummennettu yliaalto-osuus $\Sigma\ u_v$ (kuva 6 a), joka on piirretty erikseen kuvaan 6 b.



Kuva 6. Invertterillä syötetyn oikosulkumoottorin virran muodon synty

a) lähtöjännite ja perusaalto
b) jännitteen yliaalto-osuus
c) virran yliaalto-osuus
d) virta tyhjäkäynnissä
e) virta kuormalla

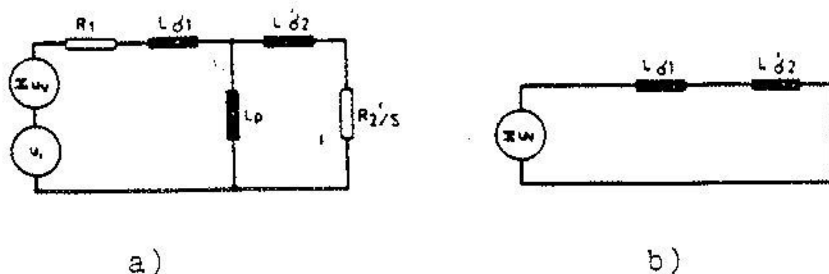
Perusaaltojännitteen ja jännitteen yliaalto-osuuden voidaan ajatella sarjaankytkettyinä syöttävän moottoria (kuva 7 a).

Superpositioperiaatetta soveltaen voidaan nyt erikseen laskea pelkästään U_1:n aiheuttama moottorivirta i_1 ja toisaalta pelkästään Σu_v:n aiheuttama moottorivirta Σi_v. Kokonaismoottorivirta saadaan summana $i_1 + \Sigma i_v$.

Jännitteen yliaalto-osuudelle koneen jättämä on suuri, joten moottorin sijaiskytkentä pelkistyy kuvan 7 b tyyppiseksi. Tämä pätee sitä paremmin, mitä vähemmän pientaajuisia yliaaltoja Σu_v sisältää. Yliaaltovirtoja rajoittavat siis hajainduktanssit ja yliaaltovirtaosuus

$$\Sigma i_v = \frac{\int \Sigma u_v dt}{L} \qquad (3)$$

Tämä on piirretty kuvaan 6 c. Yliaaltovirtaosuus on siis aina samassa vaiheessa syöttöjännitteeseen nähden ja sen amplitudi on periaatteessa kuormituksesta riippumaton. Käytännössä hajainduktanssit ovat kuormitetussa koneessa usein osin kyllästyneet, jolloin kuormitetun koneen Σi_v on suurempi kuin tyhjäkäyvän.



Kuva 7. Superpositioperiaatteen sovellutus invertterin lähtöjännitteeseen

a) perusaaltojännite ja jännitteen yliaalto-osuus syöttämässä moottoria
b) moottorin sijaiskytkentä jännitteen yliaalto-osuudelle

Kuviin 6 d ja 6 e on piirretty virran perusaallot ja kokonaismoottorivirrat tyhjäkäynnissä ja kuormalla.

Toinen tapa käsitellä invertterin yliaaltojen vaikutusta moottoriin on Fourier-menetelmä, missä jännitteen yliaalto-osuus jaetaan sinikomponentteihin, joitten taajuudet ovat perustaajuuden kerrannaisia. Merkittävimpien invertterin lähtöjännitteen komponenttien taajuudet kuuluvat tavallisesti joukkoon

$$f_v = (6n \pm 1) \cdot f_o , \qquad (4)$$

missä n = 1, 2, 3 ...
f_o = invertterin perustaajuus

usein siten, että tietyllä invertterin lähtöjännitekuviolla esiintyy kaksi yliaaltoparia, joissa toisessa n = 1 ja toisessa suurempi. - Kukin yliaaltokomponentti muodostaa 3-vaiheisen pyörivän kentän.

Yliaallot aiheuttavat moottorissa

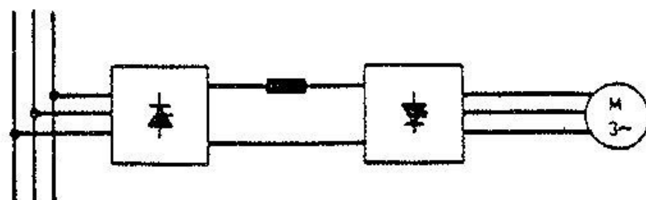
- heilurimomentteja, joiden taajuus on $6n \cdot f_o$ ja ne ovat siis tahdissa perusaallon kanssa. Yleensä heilurimomenteista ei ole käytössä haittaa. Jos kuitenkin pienellä perustaajuudella esiintyy merkittävästi 5. ja/tai 7. yliaaltoa, aiheuttaa se moottorin "askeltamista": moottori pyörii nykäyksittäin.
- lisää sekä rauta- että kuparihäviöitä. Lisäkuparihäviöt johtuvat myös (yliaaltovirtojen) virranahdosta roottorissa. Ilmiö, jota käytetään starttimomentin nostamiseen normaalissa verkkostartissa, muuttuu invertterikäytössä haitalliseksi.
- mahdollisesti ääni-ilmiöitä.

Kaikki invertterin "sivuvaikutukset" oikosulkumoottoriin riippuvat aivan oleellisesti invertterin lähtöjännitteen käyrämuodosta, jossain määrin myös moottorityypistä.

2. Taajuusmuuttajavaihtoehtoja

Oikosulkumoottorin syöttöön on konstruoitu eri periaatteilla toimivia taajuusmuuttajia. Tavallisimpia ovat tyristorikytkennät, joissa on tasasähkövälipiiri. Sen mukaan, käytetäänkö tasasähkön suotamiseen kuristinta vai pääosin kondensaattoreita, puhutaan virta- tai jänniteohjatuista inverttereistä.

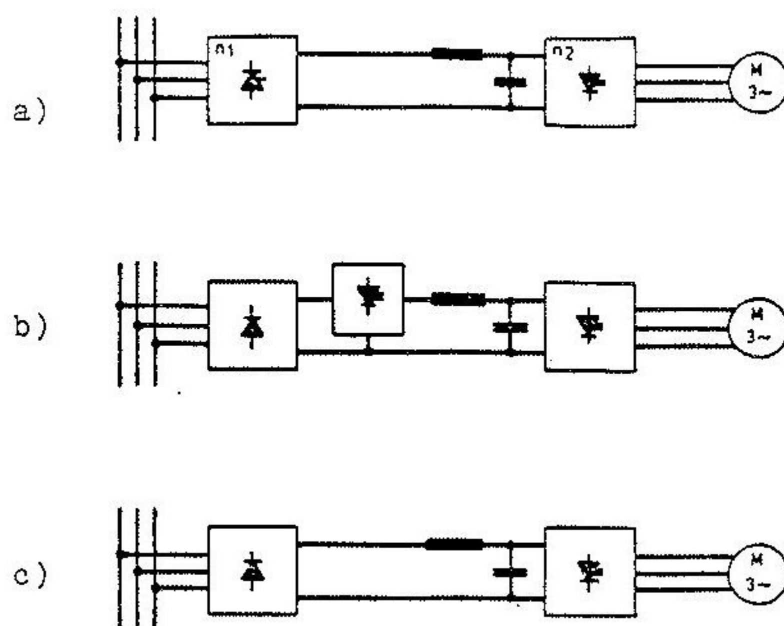
Kuvasta 8 nähdään virtaohjatun taajuusmuuttajan periaate. Siinä tyristorisilta ja tasavirtakuristin muodostavat tasavirran, mikä ohjataan invertterillä vuorotellen koneen eri vaiheisiin.



Kuva 8. Virtaohjatun taajuusmuuttajan kytkentä.

Kuvista 9 a, b ja c nähdään tavallisimmat jänniteohjattujen taajuusmuuttajien kytkennät. Kuvassa 9 a tasajännitettä ohjataan taajuuden funktiona tyristorisillalla n1, ja invertteri n2 muuttaa tasajännitteen 3-vaihesähköksi. Kuvan 9 b taajuusmuuttaja liitetään vaihtovirtaverkkoon diodisillalla; tasajännitteen ohjaus tapahtuu nyt katkojalla.

Myös kuvan 9 c taajuusmuuttaja liitetään vaihtovirtaverkkoon diodisillalla, nyt kuitenkin sekä jännitteen että taajuuden ohjaus tapahtuu samassa tehoasteessa, pulssinleveysmoduloidussa invertterissä (PWM-invertteri). Lähtöjännite koostuu tietyn korkuisista pulsseista, joiden leveydellä ohjataan perusaallon amplitudia. PWM-invertteri on verkkoystävällinen ja eri taajuusmuuttajavaihtoehdoista yleiskäyttöisin, tosin myös know-how'ltaan vaativin.



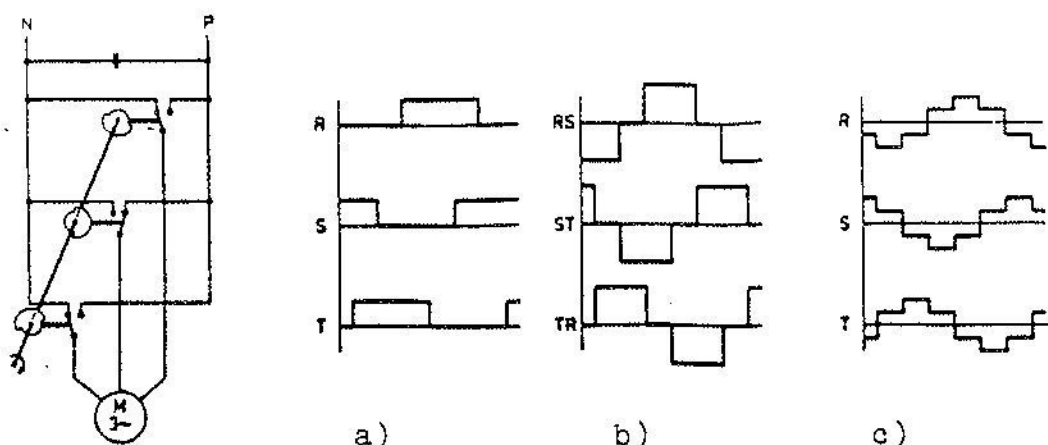
Kuva 9. Jänniteohjattujen taajuusmuuttajien kytkentöjä

a) jännitteen ohjaus tyristorisillalla
b) jännitteen ohjaus katkojalla
c) PWM-invertteri

3. Invertterin toimintaperiaate

Invertterin toimintaa havainnollistaa sen kytkinmalli (kuva 10). Siinä tasavirtakiskoihin P ja N on kytketty tasavirtakondensaattori ja kolme vaihtokytkintä, joita ohjataan toisiinsa nähden 120°:een vaihesiirtoon asennetuilla nokkalevyillä. Kun nokkalevyjä käännetään, kytkeytyvät lähtönavat R, S ja T vuorotellen tasavirtakiskoihin P ja N (kuva 10 a).

Kuvaan 10 b on piirretty pääjännitteet RS, ST ja TR. Pääjännitteen hetkellisarvo on nolla, kun vastaavat kytkimet ovat samassa asennossa, muutoin pääjännitteeksi kytkeytyy tasajännite napaisuuden vaihdellessa jaksoittain. Vaihejännite nähdään kuvasta 10 c; se saadaan esiin piirtämällä ensin kuvitellun tähtipisteen jännite.



Kuva 10. Jänniteohjatun invertterin
a) kytkinmalli
b) pääjännitteet
c) vaihejännitteet

Kytkinjärjestelmällä saadaan siis kolmivaihesähköä, jonka taajuutta voidaan ohjata nokkalevyjen kiertonopeudella. Vaihdettaessa nokkalevyjen pyörimissuunta, muuttuu myös kolmivaihejärjestelmän vaihejärjestys. Lähtöjännite ei ole sinimuotoista, vaan sisältää perusaallon ohella yliaaltoja. Pääjännitteen perusaallon tehollisarvo

$$U_{v1} = \frac{3}{\pi}\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_c \approx 0,78 \cdot U_c, \qquad (5)$$

missä U_c = tasajännite.

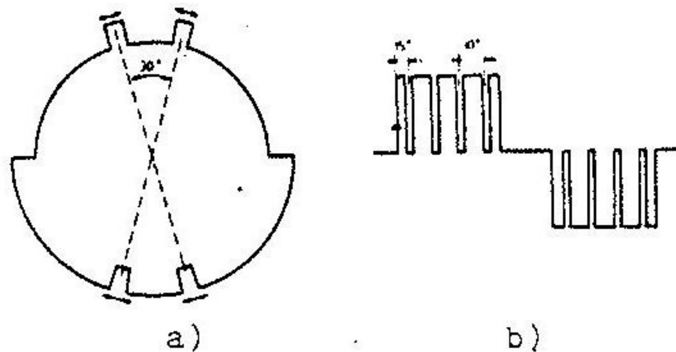
4. Vaihtokytkin

Äskeisessä invertterin toimintaa esittävässä kuvassa esiintyvä vaihtokytkin toteutetaan käytännössä itsekommutoituna tyristorikytkentänä. Niistäkin on eri valmistajilla käytössä lukuisia eri tyyppejä. Tehokkaimpia niistä ovat ns. McMurray-kytkentöjen variaatiot.

Lähtöpääjännite (11 c) muodostuu kolmesta pulssista puolijaksoa kohti: invertterin sanotaan toimivan "kolmosella". Lähtöjännitettä ohjataan muuttamalla lovien ja hampaiden leveyttä; niiden levetessä lähtöpulssit kapenevat ja jännite laskee.

Moottorin taajuutta alennettaessa kolmosella ajettaessa voidaan moottorin jännite ohjata oikeaksi, sen sijaan taajuuden laskiessa moottorivirran yliaallot kasvavat ja tästä syystä siirrytään "viitoselle".

Viitosella (kuva 12) kytkinlevyssä on 2 lovea ja hammasta, kytkentätaajuus on viisi kertaa perustaajuus ja pääjännitteessä on viisi pulssia puolijaksoa kohti. Jännitteen ohjaus tapahtuu kuten kolmosella: lovien ja hampaiden leveyttä muuttamalla.



a) b)

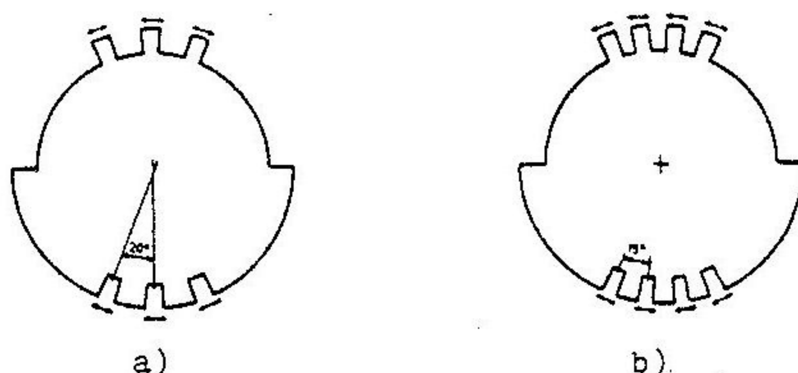
Kuva 12. PWM-invertterin
a) kytkinlevyt
b) pääjännite
"viitosella" ajettaessa.

Taajuutta edelleen alennettaessa siirrytään moottorivirtojen yliaaltojen pienentämiseksi suuremmille pulssiluvuille, esim. 7, 9, 11, 15, 21, 31. Niillä kaikilla

$$f_k = n_p \cdot f_o \tag{7}$$

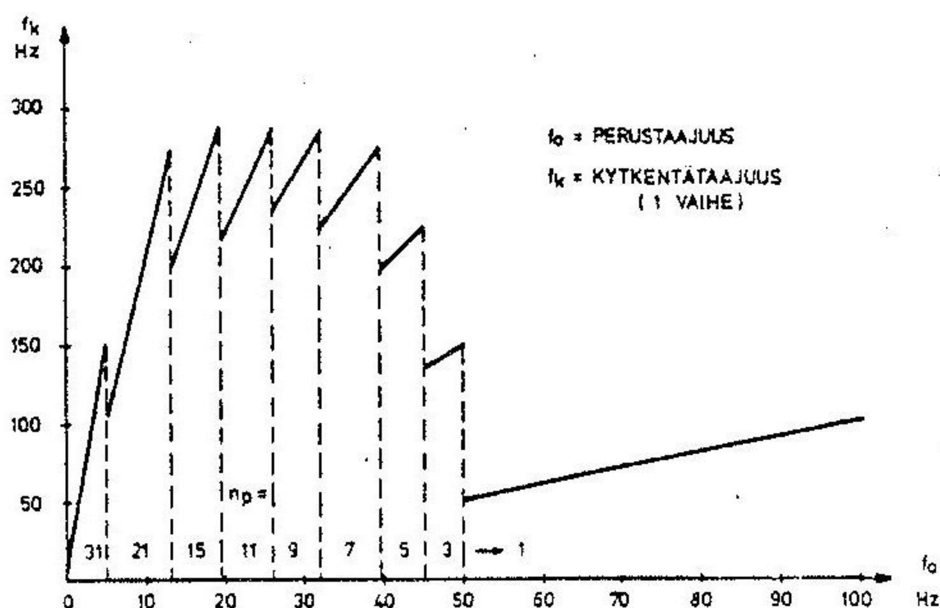
$$n_p = 2 \cdot n_l + 1 , \tag{8}$$

joissa n_p = pulssien luku puoliaaltoa kohti
n_l = nokkalevyn lovien ja hampaiden luku



Kuva 13. PWM-invertterin kytkinlevyt ajettaessa vaihteilla a) 7 ja b) 9.

Vaihteitten 7 ja 9 kuvitellut kytkinlevyt nähdään kuvassa 13. Kuvasta 14 nähdään esimerkki siitä, miten koko taajuusalue ajetaan eri pulssiluvuilla. Vaihtokohtien sijoitus perustaajuuteen nähden on optimointikysymys: mitä korkeammalle perustaajuudelle kukin vaihtokohta sijoitetaan, sitä pienemmät ovat moottorin häviöt, mutta sitä korkeammat ovat toisaalta invertterin häviöt korkeamman kytkentätaajuuden takia.

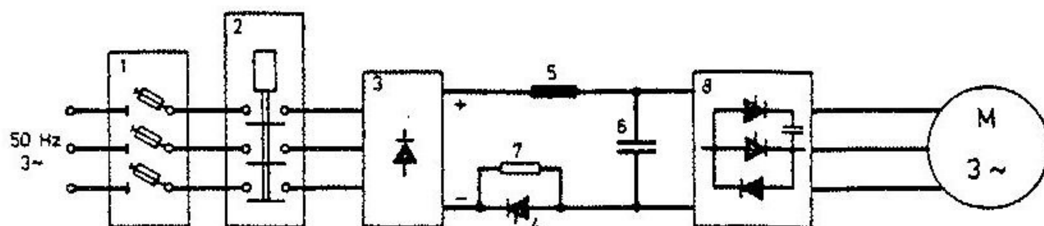


Kuva 14. PWM-invertterin kytkentätaajuus ja vaihteet perustaajuuden funktiona.

6. SAMI-taajuusmuuttaja

SAMI on PWM-invertteriin perustuva taajuusmuuttaja. Sen kytkentä nähdään kuvasta 15. Varsinainen invertteriosa liittyy vaihtovirtaverkkoon erottimen (1), kontaktorin (2), 3-vaihediodisillan (3), tasavirtakuristimen (5) ja lataustyristorin (4) kautta. Kytkettäessä SAMI verkkoon tasavirtakondensaattori (6) latautuu latausvastuksen (7) kautta; kondensaattorin latauduttua kytkeytyy tyristori (4) johtavaksi.

Invertterin tasavirtakondensaattorit ovat metallipaperieristeisiä. Varsinainen invertteriosa (8) muodostuu kolmesta itsekommutoivasta tyristorivaihtokytkimestä. Niiden oleellisimmat komponentit ovat nopeat tehopuolijohteet, joita on yhteensä 6 päätyristoria, 6 aputyristoria ja 6 nolladiodia; vähähäviöiset kommutointikondensaattorit ja kommutointikuristimet. Invertteriosan tasavirtasyöttöön sijoitettu sulake suojaa tyristorit ylivirralta.



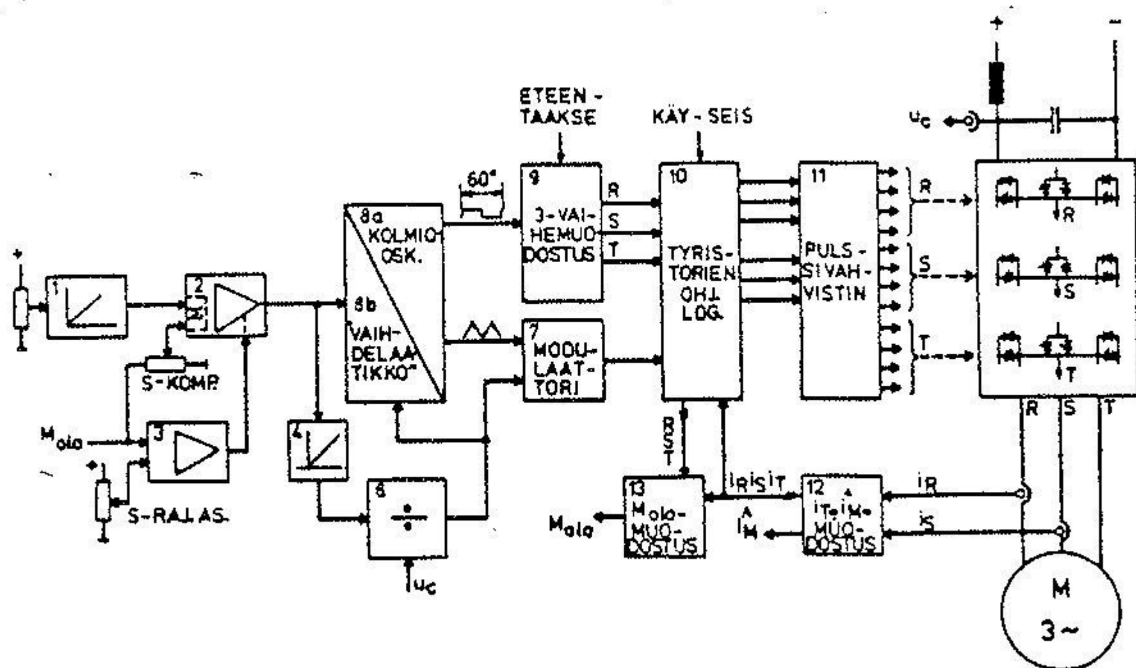
Kuva 15. SAMI-taajuusmuuttajan kytkentä.

7. SAMI:n ohjausperiaate

7.1 Taajuusohjeen käsittely

SAMI:n ohjauspiirien toimintaperiaatetta selvittää kuva 16.

Potentiometriltä tai ulkoiselta säätäjältä tuleva taajuusohje viedään integraattorin (1) kautta vahvistimelle (2), missä tapahtuu "jättämän kompensointi": taajuusohjeeseen lisätään kuormitusmomenttiin verrannollinen signaali. Vahvistimeen (2) kohdistuu



Kuva 16. SAMI:n ohjauspiirien toimintakaavio.

myös jättämän rajoitussäätäjä (3), mikä vääntömomentin kasvaessa yli asetellun rajan pienentää syöttötaajuutta. Tämä vastaa tasavirtakonekäytössä ankkurivirran rajoitussäätöä. Jättämän kompensointiin ja rajoitukseen tarvittava tieto koneen momentista saadaan myöhemmin selostetulla menetelmällä.

Vahvistimen (2) lähtö on moottorin lopullinen taajuusohje. Siitä haarautuu myös amplitudiohje, joka muodostetaan taajuusohjeesta nostamalla sitä staattorin ohmisen jännitehäviön verran lohkossa (4) ja jakamalla se u_c:llä, tasavirtapiirin jännitteellä. Jakajan (6) lähtö viedään modulaattorille (7), missä se määrää invertterin pulssien suhteellisen leveyden.

Jos u_c muuttuu, esim. pienenee, kasvaa jakajan lähtö ja niinmuodoin myös pulssien leveys. Näin jakaja (6) pyrkii pitämään moottorijännitteen verkkojännitteestä riippumattomassa arvossa.

Amplitudiohje viedään myös "vaihdelaatikkoon" (8 b), mikä amplitudiohjeen perusteella määrää, millä pulssiluvulla invertteri kulloinkin toimii. Vaihdelaatikko sisältää komparaattorin kutakin pulssiluvun vaihtokohtaa varten ja lukituksen: vaihto saa tapahtua vasta vaihtopyyntöä seuraavassa vaihejännitteen nollakohdassa, siis perusaallon 60° välein. Tällöin vaihto on sysäyksetön.

7.2 Kolmio-oskillaattori

SAMI:n ohjauksessa on oleellinen piiri kolmioaalto-oskillaattori (8 a), johon taajuusohje viedään ja joka antaa vakioamplitudista kolmioaaltoa, jonka taajuutta ohjataan perustaajuuden ja valitun pulssiluvun mukaan seuraavasti:

$$f_\wedge = \frac{n_p - 1}{2} \cdot 6 \cdot f_o \,, \qquad (9)$$

missä $f_\wedge$ = kolmio-oskillaattorin taajuus

kuitenkin niin, että $f_\wedge \geq 6 \cdot f_o$, ts. sekä suoralla että kolmosella kolmion taajuus on 6 kertaa perustaajuus.

Taulukosta I nähdään, kuinka monta kolmioaaltoa on perusaallon 60°:een alueella ajettaessa eri pulssiluvuilla. Tämä luku on on sama kuin vaihtokytkinmallin lovien (ja nastojen) määrä. Kuva 17 havainnollistaa oskillaattorin toimintaa vaihteilla suora, 3 ja 5.

Taulukko I

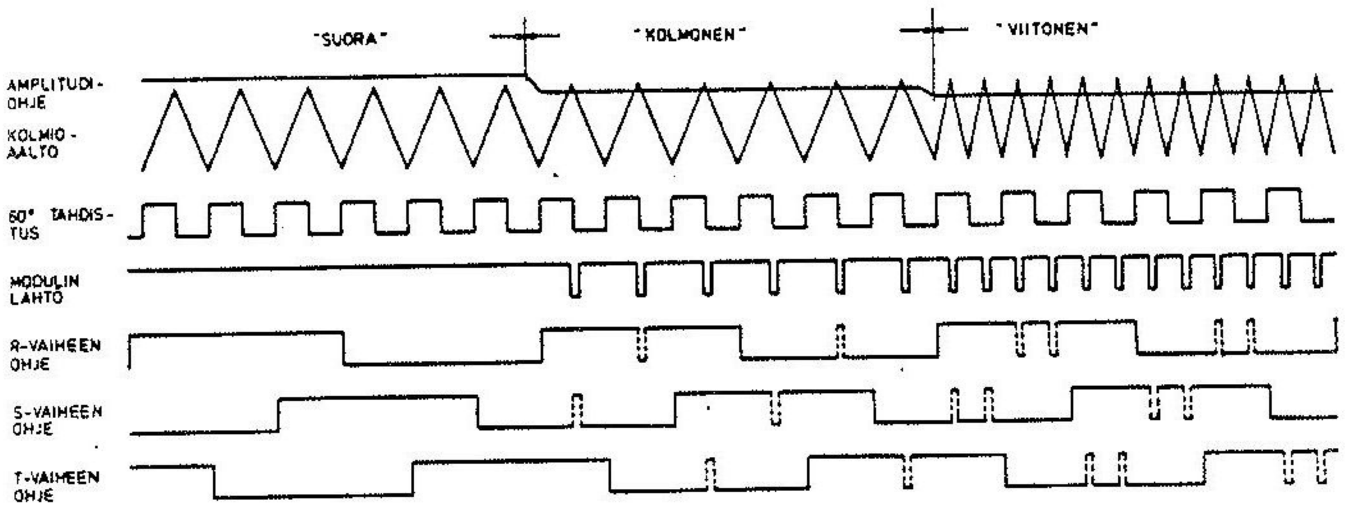
n_p	$f_\wedge / 6 \cdot f_o$
1	1
3	1
5	2
7	3
9	4
11	5
15	7
21	10
31	15

7.3 Modulaattori

Kolmioaalto viedään modulaattoriin, missä sitä verrataan amplitudiohjeeseen (kuva 17). Modulaattori on yhteinen kaikille kolmelle vaiheelle: kutakin vaihetta moduloidaan vuorotellen. Modulaattorin lähdössä näkyy invertterin pulssien leveys.

7.4 Kolmivaihejärjestelmän muodostus

Kolmiogeneraattori (8 a) antaa myös loogisen signaalin, joka vaihtuu perustaajuuden 60° välein. Siitä muodostetaan rengaslaskurilla (9) kunkin vaiheen ohjaussignaali (kanttiaalto) (kuva 17). Vaihdettaessa laskurin kiertosuunta muuttuu myös 3-vaihejärjestelmän pyörimissuunta.



Kuva 17. SAMI:n toimintoja suoralla, kolmosella ja viitosella.

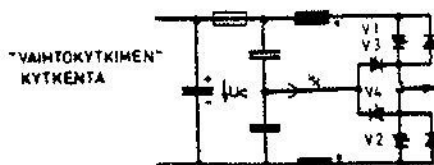
7.5 Tyristorien ohjauslogiikka

Vaiheitten kanttiohjauksista ja yhteisestä modulaattorin lähtösignaalista kombinoidaan eri vaiheitten ohjaussignaalit lohkossa 10. Kuvasta 17 nähdään eri vaiheitten ohjaukset vaihteilla suora, 3 ja 5.

Jokaisesta vaiheen ohjaussignaalin muutoksesta käynnistyy pääteasteen vaihtokytkimen kääntöoperaatio (kuva 18). Tämä tapahtuu

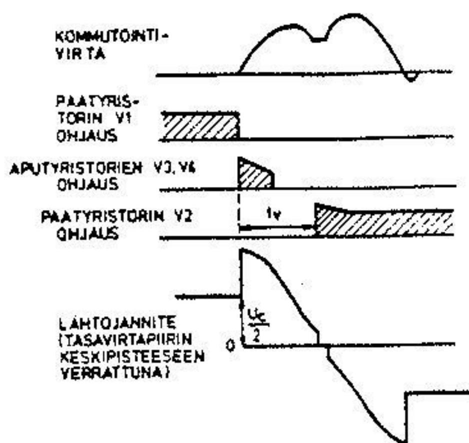
- poistamalla siihen asti johtaneelta päätyristorilta ohjauskäsky
- sytyttämällä samanaikaisesti ko. päätyristorin sammuttava aputyristori

Tämän jälkeen tapahtuu päätyristorin toipuminen. Hetkeä t_v myöhemmin sytytetään vastakkainen päätyristori, jonka jälkeen tapahtuu kommutointipiirin jälleenvarautuminen seuraavaa sammutusta varten. Viivettä t_v ohjataan ko. vaiheen kuormitusvirran mukaan, jotta kommutointivirta ei riippuisi kuormitusvirrasta.



Kuva 18.

Vaihtokytkimen kääntöoperaatio.



Vaihtokytkimen kääntöaika asennosta toiseen on tyristorien toipumisajasta riippuen 120...200 µs. Yhtä suuri on myös kytkimen minimikiinnioloaika, sillä kun vaihtokytkimen kääntöoperaatio on alkanut, on sen annettava mennä loppuun ennen kuin takaisinkääntö saa alkaa. Eri vaiheitten kytkimien ohjaus tapahtuu vuorotellen; samanaikaisia kytkimien kääntöoperaatioita ei esiinny.

7.6 Pulssivahvistin

Tyristorien ohjauskäskyt välitetään pulssivahvistimien (11) kautta tyristorien hiloille. Päätyristorit saavat hilavirtaa koko sen ajan, kun ko. haaran tulee johtaa; aputyristorien pulssit ovat lyhyet.

Pääteastetta ohjataan siis pelkästään tyristorien hilapulsseilla. Niiden sopiva järjestys ja kestoaika synnyttää moottorille muuttuvataajuisen ja -jännitteisen 3-vaihesähkön.

7.7 Takaisinkytkennät

SAMI-taajuusmuuttajassa mitataan Hall-ilmiöön perustuvilla mittamuuntimilla pääpiirin suureista tasavirtakondensaattorin jännite u_c ja kahden moottorivaiheen virrat i_R ja i_S.

u_c vaikuttaa pulssinleveyksiin, kuten aiemmin on todettu. Lisäksi sitä käytetään käytön suojaukseen: invertteri saa käydä vain u_c:n ollessa normaalivaihtelualueellaan.

Virroista i_R ja i_S muodostetaan lohkossa (12) T-vaiheen virta i_T käyttäen hyväksi tietoa

$$i_R + i_S + i_T = 0 \tag{10}$$

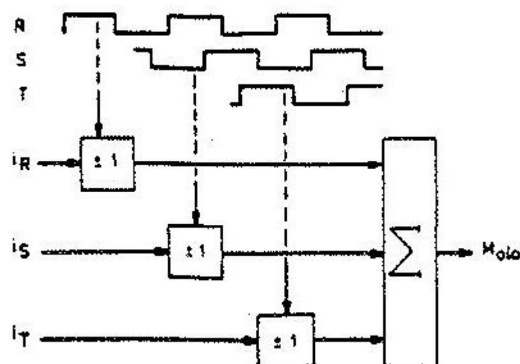
Kullakin lähtövirralla ohjataan ko. vaiheen sytytysviivettä t_v. Lisäksi kaikista moottorivirroista muodostetaan suurin hetkellisarvo $\hat{i}_m$, mikä on ylivirtalaukaisukriteeri.

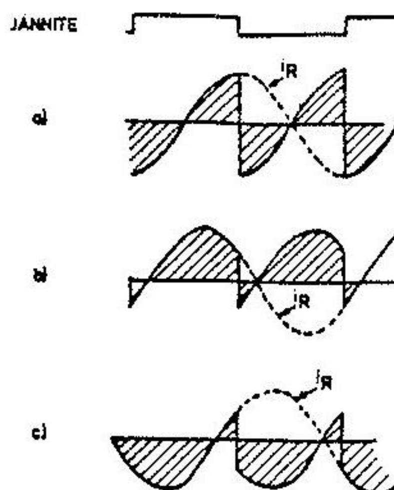
7.8 Momentin mittaus

Käytön kannalta oleellinen on virtasignaaleista kuvan 19 periaatteella johdettu M_{olo}. Siinä kukin virta kerrotaan ± 1:llä ko. vaiheen kanttiaalto-ohjeen tahdissa ja tulokset lasketaan yhteen. Kuvasta 20 nähdään 1-vaiheinen M_{olo} cos φ:n ollessa 0, 0.87 moottorina ja 0.87 generaattorina.

M_{olo} on itse asiassa staattorivirran pätökomponentti ja näin ollen se on vakiovuoalueella likimain verrannollinen koneen vääntömomenttiin. Eroa syntyy pienillä syöttötaajuuksilla, jolloin koneen häviöt ovat merkittävät akselitehoon nähden.

Kuva 19. M_{olo}:n muodostuskytkentä.





Kuva 20. 1-vaiheinen M_{olo}-signaali koneen cos φ:n ollessa a) 0, b) 0,87 moottorina, c) 0,87 generaattorina.

Kentänheikennysalueella M_{olo} on verrannollinen pätötehoon (koneen ottotehoon).

M_{olo}:a käytetään, kuten aiemmin on todettu, sekä jättämän kompensointiin että sen rajoitukseen.

8. SAMI:n ominaisuudet

8.1 Jännitesovitus

SAMI:n suurin lähtöjännite suoralla ajettaessa on, kun jännitehäviöitä ei oteta huomioon

$$U_1 = \frac{6\sqrt{3}}{\pi^2} \cdot U_v = 1{,}05 \cdot U_v \, , \qquad (11)$$

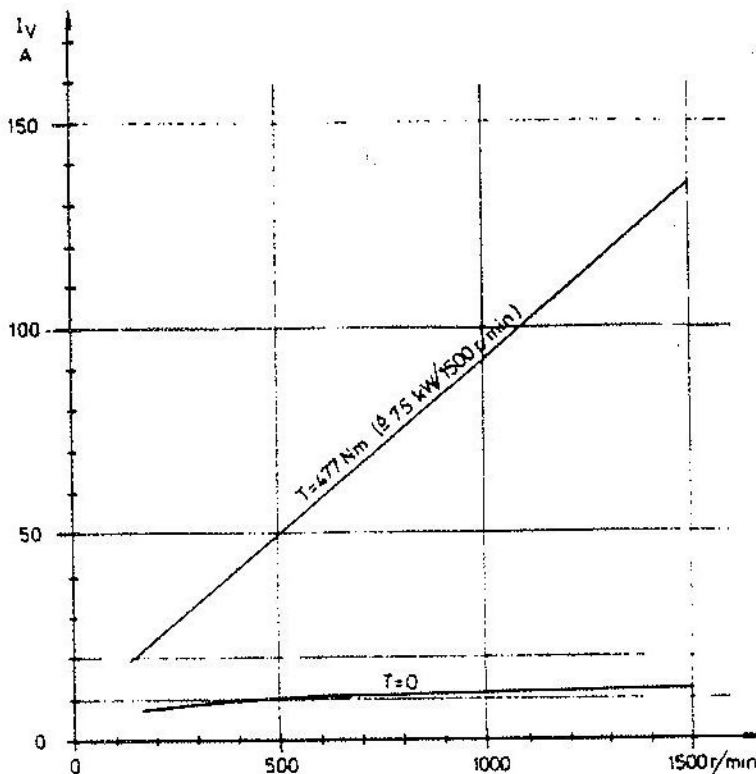
missä U_1 = lähtöjännite (perusaalto)
U_v = verkkojännite

Näin ollen SAMI-käytössä moottorijännitteeksi valitaan SAMI:n liitäntäjännite.

8.2 Verkkovirta

SAMI-invertteri liittyy verkkoon diodisillalla ja näin ollen se ottaa verkosta lähes yksinomaan pätötehoa: akselitehon ja käytön häviöt.

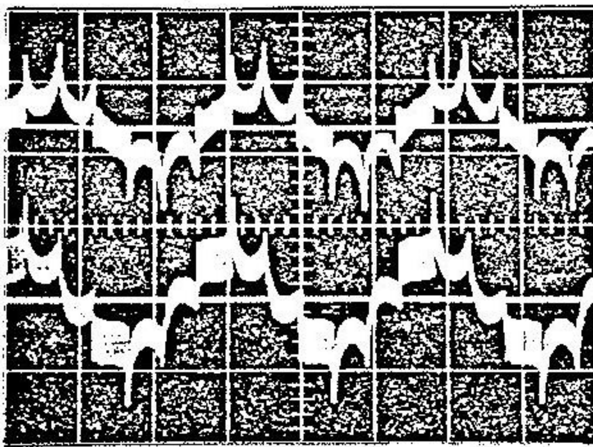
Kuvasta 21 nähdään SAMI 100:n verkkovirta sen syöttäessä moottoria HXUR 562 G 2 tyhjäkäynnissä ja nimellismomentilla funktiona pyörintänopeudesta. Havaitaan, että SAMI-käyttö ottaa verkosta vähemmän virtaa kuin suoraan verkkoon liitetty moottori.



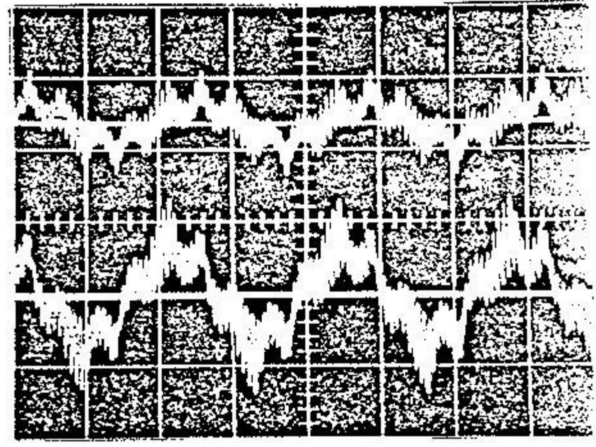
Kuva 21

Moottorivirta

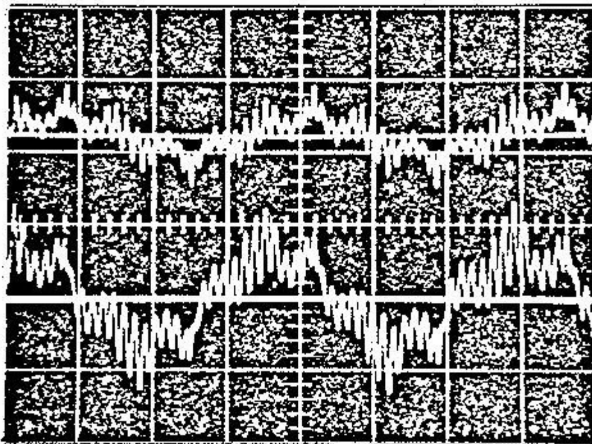
Kuvasta 22 nähdään SAMI:lla syötetyn moottorin HXUR 562 G 2 virtoja eri syöttötaajuuksilla.



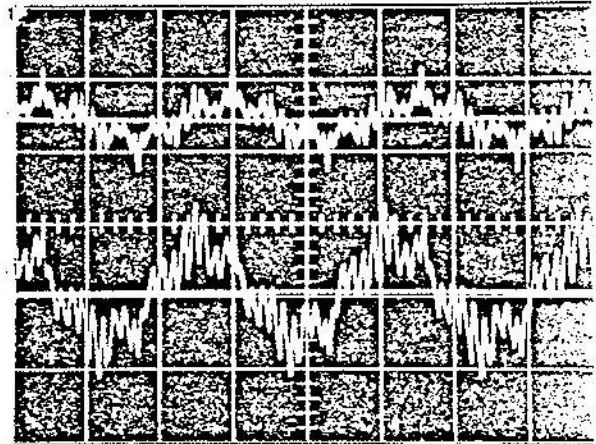
a)



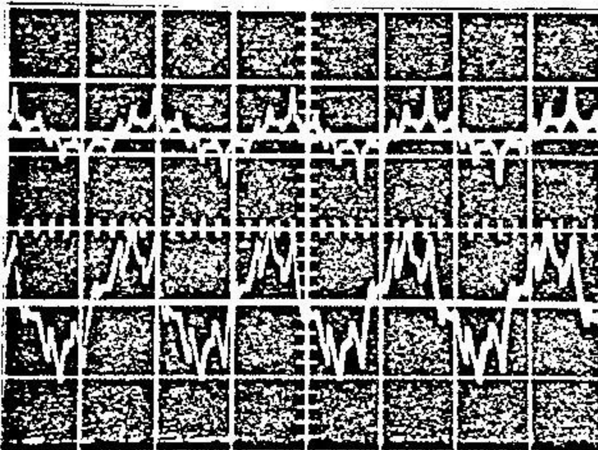
b)



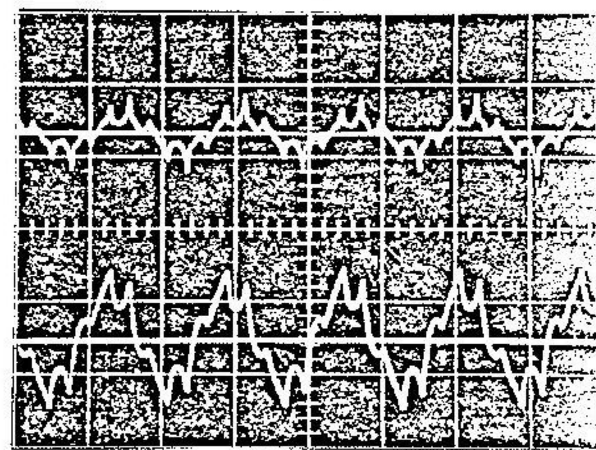
c)



d)



e)



f)

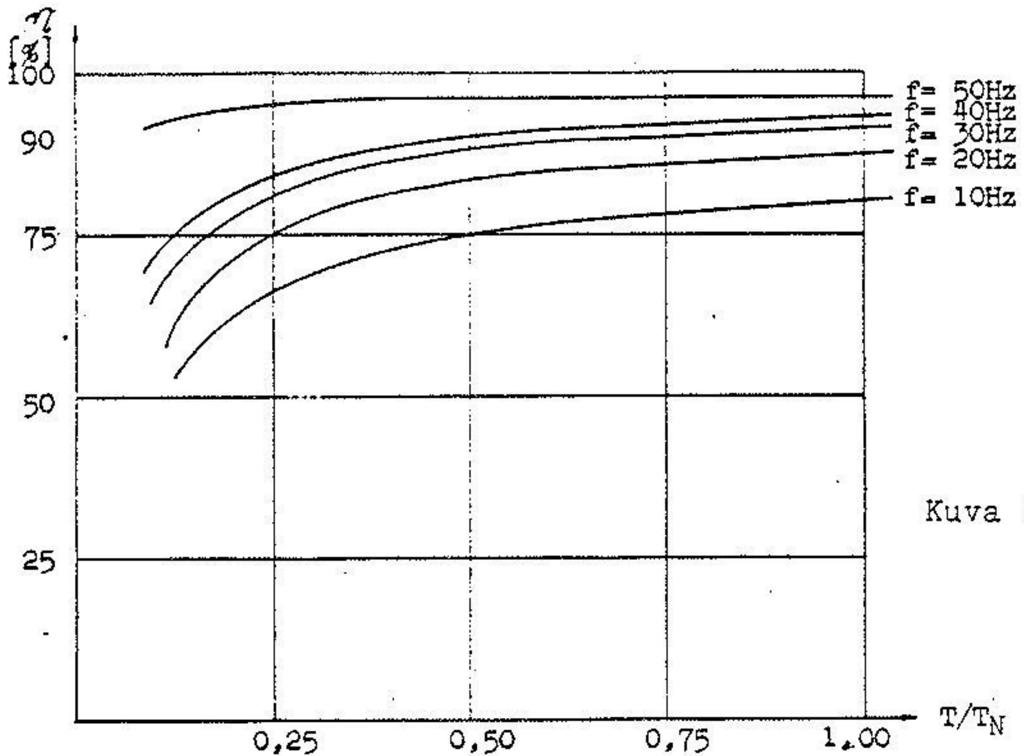
Kuva 22. SAMI 100:lla syötetyn moottorin HXUR 562 G 2 virrat tyhjäkäynnissä ja kuormalla T = 477 Nm, kun 3,5 Hz < f ≤ 54 Hz ja P = 75 kW, kun f > 54 Hz. Kuvissa y = 250 A/d.

a) Pulssiluku 31, f = 3,5 Hz
b) -"- 15, f = 21 Hz
c) -"- 9, f = 29 Hz
d) -"- 7, f = 38 Hz
e) -"- 3, f = 54 Hz
f) -"- 1, f = 62 Hz

8.3 Hyötysuhde

SAMI:n häviöt muodostuvat lähinnä kytkentähäviöistä ja kuormitushäviöistä. Kytkentähäviöt aiheutuvat vaihtokytkimien käännöistä asennosta toiseen, tällöin syntyy tietty häviöenergiamäärä. Kytkentähäviöt ovat siis kytkentätaajuuteen verrannollisia ja ne ovat pienimmillään "suoran" alussa. Kytkentätaajuuden ohella kytkentähäviöt riippuvat tasajännitteestä, ollen verrannolliset sen neliöön.

Kuormitushäviöt syntyvät lähinnä päätyristoreissa, diodisillassa ja kuristimissa. Kuvasta 23 nähdään SAMI 100:n häviöt taajuuden funktiona.



Kuva 23

8.4 Nopeustarkkuus

SAMI:a ohjataan taajuusohjeella, jonka useissa sovellutuksissa antaa ulkopuolinen säätäjä. Eräissä sovellutuksissa saattaa olla oleellinen myös nopeustarkkuus: miten moottori säilyttää asetellulla taajuusohjeella nopeutensa kuormituksen vaihdellessa?

Vakiovuoalueella moottorin nopeus muuttuu ilman lisätoimenpiteitä koneen nimellisjättämän verran vääntömomentin muuttuessa nollasta nimelliseen. Jättämän kompensoinnilla nopeustarkkuutta voidaan parantaa nostamalla syöttötaajuutta kuormituksen kasvaessa.

Epätarkkuutta kompensointiin aiheuttaa kuitenkin jättämän riippuvuus roottorin lämpötilasta. Tämä huomioonottaen SAMI:n nopeustarkkuus vakiovuoalueella ilman nopeudensäätöä on

$$\Delta n \leq \pm 0{,}25 \cdot s_n \cdot m \,, \qquad (12)$$

missä Δn = suht. nop. virhe kentänheikennyspisteen nopeuteen redusoituna
s_n = suht. nim.jättämä (nimellispyörintänopeudella)
m = suht. kuormitusmomentti

Niin haluttaessa voidaan SAMI-käyttöön luonnollisesti liittää takometri ja nopeudensäätö nopeuden tarkkuuden parantamiseksi.

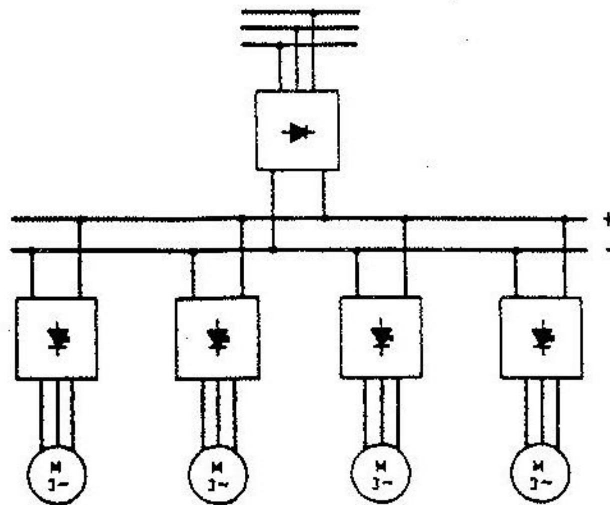
8.5 Jarrutus

SAMI-taajuusmuuttajan varsinaisen invertteriosan läpi teho voi virrata molempiin suuntiin. Verkkodiodisilta estää kuitenkin jarrutustehon verkkoon syötön. Näin ollen jarrutustehon tulee olla pienempi kuin käytön häviötehon, muutoin tasajännite nousee valvonnan pysäyttäessä invertterin.

Jos halutaan pelkästään pysäyttää moottori mahdollisimman nopeasti, voidaan pysäytysaikaa lyhentää seuraavasti: pysäytetään invertteri ja käynnistetään se välittömästi uudelleen. Tällöin invertteri jää toimimaan pienelle taajuudelle virran ollessa suurin sallittu invertterin lähtövirta, jolloin moottorin häviöt ovat huomattavat. Tällä menetelmällä päästään 5...15 % jarrumomenttiin.

Jos tarvitaan suurempaa jarrumomenttia, voidaan jarruteho ohjata tasavirtapiiriin kytkettyyn vastukseen tai vaihtosuuntaavalla tyristorisillalla vaihtovirtaverkkoon.

Ryhmäkäytöissä, missä samaan koneistoon liittyy useita SAMI-käyttöjä, ja joissa esiintyy myös jarrutustarvetta, on edullista liittää SAMI-invertterit yhteisellä diodisillalla vaihtovirtaverkkoon. Tällöin tehojen virtaus tasavirtapiirissä on vapaata, kunhan käytön kokonaisteho ei mene generaattoripuolelle (kuva 24).



Kuva 24. Ryhmäkäyttö SAMI-inverttereillä.

9. SAMI:n valinta ja moottorin valinta SAMI-käyttöön

Älä valitse SAMI:lle liian suurta moottoria

Invertterillä syötetyn oikosulkumoottorin virran huippuarvot koneen ollessa tyhjäkäynnissä tai kuormalla eivät välttämättä poikkea kovin paljon toisistaan, kuten kuvasta 6 ilmenee.

SAMI on itsekommutoiva kytkentä, sen oleellinen mitoituskriteeri termisen kuormitettavuuden ohella on suurin kommutoitavissa oleva virta, jota ei saa hetkellisestikään ylittää. Tästä syystä kullekin SAMI:lle on määritelty suurin moottori, jonka siihen saa liittää, riippumatta siitä, että kone toimii osakuormalla. - Erityistä varovaisuutta on noudatettava liitettäessä SAMI:in sellaisia erikoismoottoreita, joissa kippimomentti on normaalimoottoreiden vastaavaa korkeampi, koska virtahuiput voivat kasvaa tällöin sallittuja suuremmiksi.

Tällaisen moottorin redusoitu näennäisteho voidaan laskea kaavasta

$$S_{korj} = S_N \cdot \frac{1 + \frac{T_K}{2,9} \cdot 0,8}{1,8}$$, missä

S_N = moottorin nimellisteho ($I_N \cdot U_N \cdot \sqrt{3}$)

T_K = moottorin kippimomentin suhteellinen arvo.

Näin saatu arvo ei saa ylittää invertterin nimellistehoa.

SAMI:n valinta, kun SAMI syöttää useampia moottoreita

Jos SAMI:in liitetään useampia moottoreita, tapahtuu SAMI:n valinta laskemalla moottoreiden nimellisvirrat yhteen ja tarkistamalla, että valitun SAMI:n nimellisvirta on tätä suurempi. Kriteerioksi ei pidä ottaa moottoreiden akselitehojen summaa, koska se varsinkin monien pienten moottoreiden ollessa kyseessä johtaa selvästi väärään tulokseen.

Älä kytke moottoria käynnissä olevaan SAMI:in

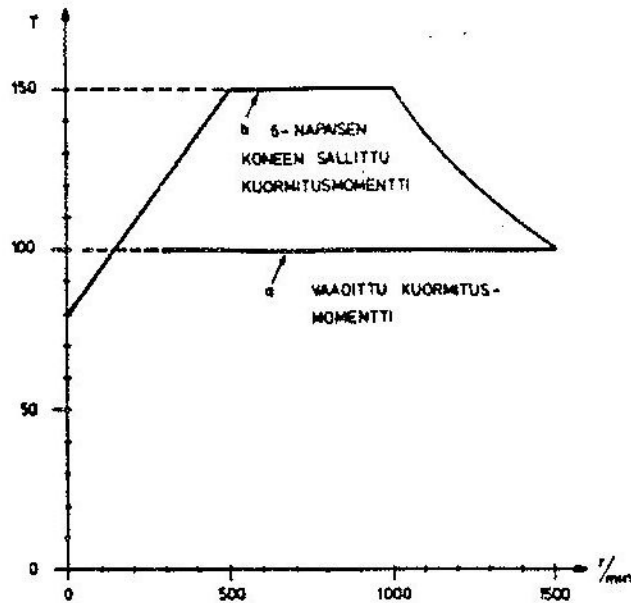
SAMI-käyttö tulee käynnistää kytkemällä ensin moottori SAMI:in ja käynnistämällä SAMI sen jälkeen. Jos käynnissä olevaan SAMI:in kytketään moottori, joudutaan valitsemaan noin dekadia suurempi SAMI: moottorin käynnistysvirta on n. kuusi kertaa sen nimellisvirta ja ensimmäinen transientti vielä huomattavasti tätäkin korkeampi.

Kun kuitenkin esim. tapauksessa, jolloin SAMI käyttää useampia moottoreita, SAMI:in on voitava kytkeä moottori SAMI:n jo käydessä, valitaan SAMI jälleen virtakriteeriolla: lasketaan yhteen käynnissä olevien koneiden nimellisvirrat ja lisätään siihen käynnistettävän moottorin käynnistysvirta.
Summa ei saa ylittää SAMI:n nimellisvirtaa.

Valitse SAMI-käytön moottorille optimi napaluku

Koneen napaluku vaikuttaa oleellisesti SAMI-käytön ominaisuuksiin. Tarkastellaan tätä esimerkin valossa (kuva 25).

Käytön edellytetään antavan vakiomomentin nopeusalueella 0...1500 r/min, alueella 300...1500 r/min jatkuvasti (suoralla). Jos käytetään itsetuuletteista, 4-napaista moottoria, on valittava n. 1,5 x nimellismomenttinen kone, jotta se myös minimikierrosluvulla olisi termisesti käyttöön riittävä. Koska SAMI-taajuusmuuttaja on valittava moottorin tyyppitehon mukaan, merkitsee tämä sitä, että käyttöön tarvitaan huomattavasti suurempi SAMI kuin käytön nimellisteho edellyttäisi.



Kuva 25. Esimerkki moottorin valinnasta SAMI-käyttöön

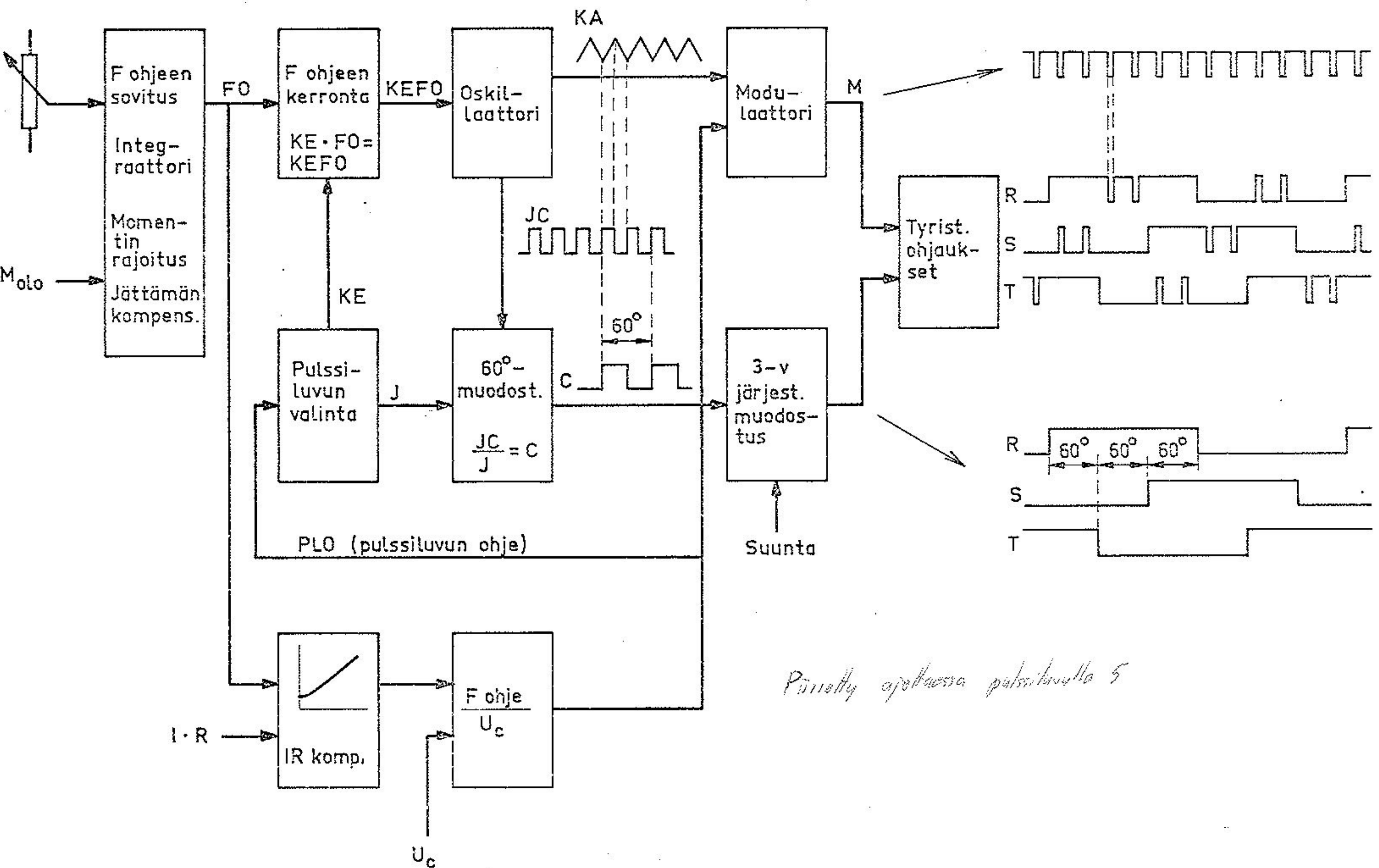
a) tarvittava kuormitusmomentti
b) 6-napaisen koneen sallittu kuormitusmomentti

Tämä voidaan välttää kahdella tavalla, joko käyttämällä vierastuuletteista moottoria tai valitsemalla 6-napainen kone, joka antaa vaaditun tehon jo pyörintänopeudella 1000 r/min. Sen jatkuva kuormitettavuuskäyrä on b. Havaitaan, että moottori on käyttöön termisesti likimain yhtä vahva sekä nopeusalueen ala- että yläpäässä: moottorin ominaisuudet on näin käytetty hyväksi.

6-napaisen koneen valinta ylimitoitetun 4-napaisen sijasta merkitsee pienempää SAMI:a, sitä kautta edullisempaa hankintahintaa ja pienempiä kytkentähäviöitä.

6-napaisen koneen valinta vaikuttaa myös toisella tavalla edullisesti SAMI-käytön häviöihin. Kierroslukualueella 1000...1500 r/min ajetaan tällöin suoralla, jolloin kytkentähäviöt ovat oleellisesti normaalia pienemmät ja SAMI:n kokonaishäviöt vain noin puolet nimellishäviöistä.

Jos energiansäästö halutaan viedä mahdollisimman pitkälle, on näin ollen myös pumppu- ja puhallinkäytöissä perusteltua valita isompinapainen kone kuin nimellisnopeus edellyttäisi, jotta toimintapiste pysyisi suoralla.



Piirretty ajettaessa pulssiluvulla 5